

200302237

1

## Beschreibung

## Leistungsendstufe für kapazitive Lasten

5 Die Erfindung betrifft eine Leistungsendstufe oder Wandler-  
schaltung mit einer Speicherinduktivität, die mit einem Ende  
mit einem Referenzpotential verbunden ist und die am entge-  
gengesetzten Ende eingangs an einen Netzanschluss und aus-  
gangsseitig an eine sekundäre Speicherkapazität angeschlossen  
10 ist, die eingangsseitig mit dem Referenzpotential verbunden  
ist.

Aufgrund des dringenden Bedarfes an kraftstoffsparenden Moto-  
ren werden derzeit direkt einspritzende Ottomotoren mit mageren  
15 Brennverfahren entwickelt. Die neue Motorengeneration  
kann eine mittlere Kraftstoffeinsparung von bis zu 15 % er-  
zielen. Unter Teillast wird im Brennraum eine Ladungsschich-  
tung vorgenommen. Dies bedeutet, dass der Brennraum in zwei  
Zonen aufgeteilt wird, eine erste Zone mit einem zündfähigen  
20 Kraftstoff-Luftgemisch in Zündkerzennähe und eine zweite Zone  
aus Luft und Restgas, die die erste Zone umgibt und thermisch  
gegen die Wände des Brennraumes isoliert. Die Schichtladung  
bedingt einen äußerst späten Einspritzzeitpunkt während der  
Verdichtungsphase des Motors und eine extrem kurze Einspritz-  
25 zeit von typischerweise 0,5 ms. Mit wachsender Motorlast er-  
folgt der Übergang in den homogenen Betrieb. Dabei wird der  
Kraftstoff bereits während der Ansaugphase, also sehr früh,  
eingespritzt, um eine gute Durchmischung von Luft und Kraft-  
stoff zu gewährleisten.

30 Es ist besonders vorteilhaft, zur Betätigung der Einspritz-  
ventile Piezoaktoren oder andere in Mehrschichttechnik gefer-  
tigte elektrostriktive Aktoren heranzuziehen, da diese nahezu  
verzögerungsfrei reagieren. Die Piezoaktoren oder in Mehr-  
35 schichttechnik gefertigte elektrostriktive Aktoren weisen ei-  
nen Schichtstapel aus einem Material auf, dessen Ausdehnung  
sich beim Anlegen einer äußeren Spannung in Längsrichtung än-

dert. Mit Piezoaktoren oder elektrostriktiven Aktoren betätigte Einspritzventile lassen sich unabhängig von der Kolbenbewegung steuern und weisen darüber hinaus den Vorzug auf, dass sich mit ihnen kurze Schaltzeiten realisieren lassen.

5

Schaltungstechnisch stellt der Piezoaktor eine Kapazität dar, die durch eine anlegende äußere elektrische Spannung aufgeladen wird. Somit wird Energie im Piezoaktor gespeichert. An einem Piezoaktor werden beispielsweise Schaltvorgänge mit  
10 Frequenzen zwischen 10 und 500 Hz zum Aufladen und Entladen verwendet.

In der deutschen Patentanmeldung mit dem amtlichen Aktenzeichen 101 47 168.8 wird eine Wandlerschaltung beschrieben, mit  
15 der die in der sekundären Speicherkapazität gespeicherte Energie auf eine primäre Speicherkapazität wenigstens teilweise zurückübertragbar ist. Dies wird erreicht durch die einseitige zusätzliche Anbringung einer primären Speicherkapazität. Auf diese primäre Speicherkapazität kann die in der se-  
20 kundären Speicherkapazität gespeicherte Energie insbesondere durch kurzzeitiges Schließen eines sekundären Schaltelementes einen Strom über die Speicherinduktivität und die sekundäre Speicherkapazität aufbauen, der bei dem kurz darauf folgenden Öffnen des sekundären Schaltelementes weiter fließt und da-  
25 durch die primäre Speicherkapazität auflädt.

Da bei vielen Anwendungen die Leistungsendstufe so kompakt wie möglich gebaut werden soll, sind sämtliche Bauteile auf eine Volumenreduzierung hin zu überprüfen. Die Schaltung der  
30 Leistungsendstufe entsprechend Figur 2, die dem Stand der Technik entspricht, erfordert jedoch zur internen Abstimmung bestimmte Mindestkennwerte eines jeden Bauteiles. Den größten Platz nehmen dabei nach wie vor die Induktivitäten und auch Kapazitäten ein. Wird beispielsweise die primäre Speicherkapazität durch Absenken der Nennkapazität erniedrigt, so führt  
35 dies zu einer höheren Potentialschwankung während des Lade-

und Entladevorganges, was wiederum eine Filterdrossel mit einer höheren Strombelastung zur Folge hätte.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Leistungsend-  
5 stufe bereitzustellen, mit der möglichst verlustfrei bei minimaler Baugröße elektrisch kapazitiv wirkende Aktoren ansteuerbar sind.

Die Lösung dieser Aufgabe geschieht durch die jeweilige Merkmalskombination der Ansprüche 1 oder 12.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

15 Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die primäre Speicherkapazität 3 so klein wie möglich auszulegen ist. Für viele Anwendungen steht die nötige Versorgungsspannung VCC nicht zur Verfügung. Hierfür ist jedoch ein Mindestwert notwendig, um eine gewünschte Dynamik am Ausgang (+V) zu gewährleisten.  
20 Für den Betrieb von Piezoeinspritzventilen steht meist nur eine Versorgungsspannung von 12 V oder maximal 42 Volt zur Verfügung. Für den Betrieb einer Leistungsendstufe der angesprochenen Art ist jedoch eine Versorgungsspannung VCC von mehr als 70 Volt notwendig. Es wird der Eingang mit  
25 einem zusätzlichen Schalter 20 getaktet, wobei auf einen zusätzlichen DC-DC-Konverter verzichtet werden kann.

Die im Verhältnis zum Stand der Technik neu eingebrachten Bauteile sind eine Diode zum Sperren des Rückflusses in die  
30 Versorgungsquelle und ein Schalter zum Takten des Einganges. Durch das kurzzeitige Überbrücken der Kapazität kann zum einen die Spannung der primären Speicherkapazität variiert werden und zum anderen der maximale Strom durch die Induktivität 2 begrenzt werden. Durch die Schaltungserweiterung kann auf  
35 einen zusätzlichen DC-DC-Konverter verzichtet werden.

Im folgenden wird anhand von schematischen, die Erfindung nicht einschränkenden Figuren ein Ausführungsbeispiel beschrieben:

5    Figur 1    zeigt eine Schaltung einer Leistungsstufe entsprechend der vorliegenden Erfindung,

Figur 2    zeigt eine Wandlerschaltung aus dem Stand der Technik.

10

Figur 2, der Stand der Technik, besteht in einer Wandler-schaltung mit einem Netzanschluss 1, dem eine Filterinduktivität 2 nachgeschaltet ist. An ihrem dem Netzanschluss 1 abgewandten Ende ist die Filterinduktivität 2 mit einer primären Speicherkapazität 3, beispielsweise einem Kondensator, und einer sekundären Speicherkapazität 4, beispielsweise einem Piezoaktor, verbunden. Die Piezoaktoren weisen eine Stapel von jeweils zwischen Elektroden 5 eingebettetem piezoelektrischem Material 6 auf, dessen Ausdehnung sich beim Anlegen einer größeren Spannung ändert. Der Einfachheit halber ist in den Figuren nur eine einzelne Schicht des piezoelektrischen Materials mit den zugehörigen Elektroden 5 dargestellt. Am Knotenpunkt 17 ist zwischen der primären Speicherkapazität 3 und der sekundären Speicherkapazität 4 eine Speicherinduktivität 8 angeschlossen, die mit ihrem dem Knotenpunkt 10 abgewandten Ende an Masse 9 angeschlossen ist. Von einer die Filterinduktivität 2 mit der primären Speicherkapazität 3 verbindenden Leitung 10 zweigt schließlich eine Leitung 11 ab, die zu einem primären Schaltelement 12 führt. Das primäre Schaltelement 12 ist mit seinem der Leitung 10 abgewandten Ende ebenfalls mit der Masse 9 verbunden. Ferner ist das primäre Schaltelement 12 mit einer Diode 13 überbrückt, die bei anliegender Versorgungsspannung VCC am Netzanschluss 1 in Sperrrichtung gepolt ist. In Reihe mit der sekundären Speicherkapazität 4 ist ein sekundäres Schaltelement 14 angeordnet, das ebenfalls mit der Masse 9 verbunden ist und mit einer Diode 15 überbrückt wird. In diesem Fall ist

15  
20  
25  
30  
35

die Diode 15 bei anliegender Versorgungsspannung VCC am Netzanschluss 1 in Flussrichtung gepolt.

Beim Anlegen einer Versorgungsspannung VCC an den Netzanschluss 1 und bei geöffnetem primären Schaltelement 12 lädt sich zunächst die primäre Speicherkapazität 3 auf bis ein Knotenpunkt 16 zwischen den Leitungen 10 und 11 auf dem Potential VCC liegt. Ein Knotenpunkt 17 liegt zu diesem Zeitpunkt auf Massepotential.

Beim Schließen des primären Schaltelementes 12 wird der Knotenpunkt 16 auf Massepotential gelegt. Dadurch wandert das Potential des Knotenpunktes 17 auf -VCC, so dass durch die Speicherinduktivität 8 ein Strom  $I_L$  über die Speicherkapazität 8, die primäre Speicherkapazität 3 und das primäre Schaltelement 12 fließt. Nach dem Öffnen des primären Schaltelementes 12 hält die Speicherinduktivität 8 den Strom  $I_L$  aufrecht und lädt dadurch die sekundäre Speicherkapazität 4 auf. Der Strom  $I_L$  fließt dabei über die sekundäre Speicherkapazität 4 und die Diode 15. Die sekundäre Speicherkapazität 4 ist nun geladen, wobei die masseseitige Elektrode, die Elektrode 5, auf negativem Potential unter des Massepotentials liegt. Durch die Diode 15 wird daher ein Entladen der sekundären Speicherkapazität 4 verhindert.

Zum Entladen der sekundären Speicherkapazität 4 wird das sekundäre Schaltelement 14 geschlossen, so dass über das sekundäre Schaltelement 14 und die sekundäre Speicherkapazität 4 und die Speicherinduktivität 8 ein Strom  $I_R$  fließen kann.

Nach Öffnen des sekundären Schaltelementes 14 hält die Speicherdrossel 8 den Strom  $I_R$  aufrecht und lädt dadurch die primäre Speicherkapazität 3 auf. Dabei fließt ein Strom über die primäre Speicherkapazität 3 und die primäre Diode 13. Die in der sekundären Speicherkapazität 4 gespeicherte Ladung wird auf diese Weise wenigstens teilweise auf die primäre Speicherkapazität 3 zurückübertragen. Die in der sekundären Speicherkapazität 4 gespeicherte Energie geht daher nicht voll-

ständig verloren, sondern wird in die primäre Speicherkapazität 3 zurückgespeichert.

Die primäre Diode 13 und die sekundäre Diode 15 sind für die Funktion der Schaltung nicht unbedingt erforderlich. Es ist auch grundsätzlich denkbar, das primäre Schaltelement 12 und das sekundäre Schaltelement 14 durch eine geeignete Steuerung immer dann zu schließen, wenn Strom über das primäre Schaltelement 12 und das sekundäre Schaltelement 14 fließen soll, und immer dann zu öffnen, wenn die Verbindung zur Masse unterbrochen werden soll.

Der Wert der Induktivität der Filterinduktivität 2 sollte größer sein als der Wert der Induktivität der Speicherinduktivität 8, um zu verhindern, dass Störimpulse in das Netz eingespeist werden.

In der in Figur 2 dargestellten Wandlerschaltung bzw. Leistungsendstufe ist die parallel geschaltete Kombination aus sekundärem Schaltelement 14 und sekundärer Diode 15 zwischen Knotenpunkt 17 und sekundärer Speicherkapazität 4 zwischengeschaltet. Dies ist vor allem für Anwendungen wichtig, bei denen die sekundäre Speicherkapazität aus Sicherheitsgründen an Masse 9 angeschlossen werden soll. Dadurch kann das Gehäuse eines als sekundäre Speicherkapazität 4 verwendeten Piezoaktors geerdet werden. In diesem Fall sollte jedoch für das sekundäre Schaltelement 14 ein sog. High side-Schalter verwendet werden, da das sekundäre Schaltelement 14 ansonsten potentialmäßig schwimmt.

30

Mit der in Figur 2 beschriebenen Leistungsendstufe lässt sich aus den im Bordnetz eines Kraftfahrzeuges vorhandenen niedrigen Gleichspannungen präzise ein vorgegebener Spannungsverlauf an der sekundären Speicherkapazität 4 erzeugen. Dabei können ohne weiteres Spitzenspannungen im Bereich von mehreren 100 Volt erreicht werden. Ein besonderer Vorteil ist dabei der hohe Wirkungsgrad der Schaltung, da die in der sekun-

dären Speicherkapazität 4, einem Piezoaktor, gespeicherte Energie zurückgewonnen werden kann. Die Schaltung eignet sich insbesondere für die Ansteuerung von piezoelektrischen oder elektrostriktiven Bauelementen. Dies kann ein Piezoaktor zum  
5 Betätigen eines Injektionsventils in einem direkt einspritzenden Motor oder auch ein Piezomotor sein.

Da die Leistungsendstufe häufig in mobilen Systemen eingesetzt werden soll, besteht ein Ziel der Erfindung darin, diese Endstufe so kompakt wie möglich zu bauen. Den größten  
10 Platz auf einer Platine würden die beiden Induktivitäten 2 und 8 und die Kapazität 3 einnehmen. Optimiert man beispielsweise die primäre Speicherkapazität 3 durch Absenken der Nennkapazität, so führt dies zu einer höheren Potential-  
15 schwankung während des Lade- und Entladevorganges. Für viele Anwendungen steht die nötige Versorgungsspannung VCC nicht zur Verfügung. Hierfür ist jedoch ein Mindestwert notwendig, um eine gewünschte Dynamik am Ausgang (+V) zu gewährleisten. Für den Betrieb von Piezoeinspritzventilen steht meist nur  
20 eine Versorgungsspannung von 12 V oder maximal 42 Volt zur Verfügung. Für den Betrieb einer Leistungsendstufe der angesprochenen Art ist jedoch eine Versorgungsspannung VCC von mehr als 70 Volt notwendig. Die nötige Spannung wird mit Hilfe eines DC-DC-Konverters erzeugt. Der DC-DC-Konverter beansprucht jedoch viel Bauraum und die hierfür anzusetzenden  
25 Kosten sind erheblich.

In Figur 1 ist somit ein Ausführungsbeispiel dargestellt, in dem der Lösungsansatz klar zu erkennen ist. Darin wird auf  
30 einen DC-DC-Konverter verzichtet, die primäre Speicherkapazität 3 wird so klein wie möglich gehalten, um gleichzeitig auf eine Spule mit einer höheren Strombelastbarkeit verzichten zu können. Dabei ist der Eingang der Schaltung mit einem zusätzlichen Schalter 20 zu takten.

35

Die Idee dieser Schaltung besteht darin, dass die Versorgungsspannung VCC der Endstufe kleiner ist als die minimale

Spannung der primären Speicherkapazität 3. Die Pausen, in denen die sekundäre Speicherkapazität 4 weder geladen noch entladen wird, werden hier genutzt, um die primäre Speicherkapazität 3 nachzuladen. Dies geschieht in zwei Schritten. Im

5 ersten Schritt wird der Schalter 20 geschlossen. Der Schalter 20 schließt die primäre Speicherkapazität 3 kurz, wodurch über den Zweig Filterinduktivität 2, Schalter 20 und Speicherinduktivität 8 ein Strom fließt. Wird der Schalter 20 nach einer bestimmten Zeit wieder geöffnet, wird in die in der

10 Filterinduktivität 2 und in der Speicherinduktivität 8 gespeicherte Energie in die primäre Speicherkapazität 3 umgeladen. Die Diode 19 verhindert, dass die Energie aus der primären Speicherkapazität 3 wieder zum Netzanschluss VCC zurückfließt. Der Vorteil dieses Schaltungskonzeptes ist zum einen,

15 dass durch die Pulsweite des Schalters 20 der maximale Strom bestimmt werden kann, der durch die Filterinduktivität 2 fließt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass kein zusätzlich DC-DC-Konverter notwendig ist, um die notwendige Versorgungsspannung zu erzeugen. Periphere Baugruppen, wie beispielsweise die zur Strommessung an der Speicherinduktivität

20 8 können zur Bestimmung der Energiepakete auch zur Strommessung beim Nachladen der primären Speicherkapazität 3 mit benutzt werden.

25 Die Erweiterung der in Figur 2 dargestellten Leistungsstufe durch die Diode 19 und den Schalter 20 entsprechend Figur 4 erlaubt somit das kurzzeitige Überbrücken der primären Speicherkapazität 3, wodurch zum einen die Spannung der primären Speicherkapazität 3 variiert werden kann und zum anderen der maximale Strom durch die Filterinduktivität 2 be-

30 grenzt wird.



## Patentansprüche

1. Leistungsendstufe für kapazitive Lasten bestehend aus:
  - einer Speicherinduktivität (8), die mit einem Ende mit ei-  
5 nem Referenzpotential (9) verbunden ist und die am entge-  
gengesetzten Ende eingangsseitig an einen Netzanschluss  
(1) und ausgangsseitig an eine sekundäre Speicherkapazität  
(4) angeschlossen ist;
  - einer primären Speicherkapazität (3) die der Speicherin-  
10 duktivität (8) eingangsseitig vorgeschaltet ist, wobei die  
primäre Speicherkapazität (3) wiederum eingangsseitig über  
ein primäres Schaltelement (12) mit dem Referenzpotential  
(9) verbunden ist,
  - einem sekundären Schaltelement (14), welches mit der se-  
15 kundären Speicherkapazität (4) in Reihe geschaltet ist,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Eingang der Leistungsendstufe mit einem zusätzlichen  
Schalter (20) getaktet ist.
- 20 2. Leistungsendstufe nach Anspruch 1, bei der das primäre  
Schaltelement (12) mit einer für eine am Netzanschluss anlie-  
gende Versorgungsspannung in Sperrrichtung gepolten primären  
Diode (13) überbrückt ist.
- 25 3. Leistungsendstufe nach Anspruch 1 oder 2, bei der das se-  
kundäre Schaltelement (14) mit einer für eine am Netzan-  
schluss anliegende Versorgungsspannung in Flussrichtung ge-  
polten sekundären Diode (15) überbrückt ist.
- 30 4. Leistungsendstufe nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei der die Speicherinduktivität (8) eine Luftspule ist.
5. Leistungsendstufe nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei der zwischen Netzanschluss (1) und primärer Speicherkapa-  
35 zität (3) eine Filterinduktivität (2) geschaltet ist.

6. Leistungsendstufe nach Anspruch 5, bei der die Filterinduktivität (2) eine Luftspule ist.

5 7. Leistungsendstufe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Wert der Induktivität der Filterinduktivität (2) größer ist als der Wert der Induktivität der Speicherinduktivität (8).

10 8. Leistungsendstufe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die sekundäre Speicherkapazität (4) ein Piezoelement ist.

15 9. Leistungsendstufe nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der die sekundäre Speicherkapazität (4) ein elektrostriktives Bauelement ist.

20 10. Leistungsendstufe nach Anspruch 8, bei der das Piezoelement ein zum Betätigen von Ventilen in einem Verbrennungsmotor geeigneter Piezoaktor ist.

11. Leistungsendstufe nach Anspruch 8 oder 10, bei dem das Piezoelement ein in Mehrschichttechnik gefertigter Piezoaktor ist.

25 12. Verfahren zum Betrieb einer Leistungsendstufe nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem eine Aufladung der primären Speicherkapazität (3) in den Pausen, in denen die sekundäre Speicherkapazität (4) weder geladen noch entladen wird, geschieht, in einem ersten Schritt der Schalter (20) zum Takten  
30 des Einganges geschlossen wird, so dass die primäre Speicherkapazität (3) kurzgeschlossen ist und der Schalter (20) nach einer bestimmten Zeit geöffnet wird, so dass die in der Filterinduktivität (2) und der Speicherinduktivität (8) gespeicherte Energie in die primäre Speicherkapazität (3) umgeladen  
35 wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem mittels einer auf der Eingangsseite der primären Speicherkapazität (3) geschalteten Diode (19) verhindert wird, dass die Energie in der primären Speicherkapazität (3) wieder in die Versorgungsquelle zurück-  
5 fließt.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, bei dem mittels der veränderlichen Pulsweite am Schalter (20) ein maximaler Strom bestimmbar ist, der durch die Filterinduktivität (2) fließt.

## Zusammenfassung

## Leistungsendstufe für kapazitive Lasten

- 5 Leistungsendstufe für kapazitive Lasten bestehend aus:
- einer Speicherinduktivität (8), die mit einem Ende mit einem Referenzpotential (9) verbunden ist und die am entgegengesetzten Ende eingangsseitig an einen Netzanschluss (1) und ausgangsseitig an eine sekundäre Speicherkapazität (4) angeschlossen ist;
  - 10 - einer primären Speicherkapazität (3) die der Speicherinduktivität (8) eingangsseitig vorgeschaltet ist, wobei die primäre Speicherkapazität (3) wiederum eingangsseitig über ein primäres Schaltelement (12) mit dem Referenzpotential
  - 15 (9) verbunden ist,
  - einem sekundären Schaltelement (14), welches mit der sekundären Speicherkapazität (4) in Reihe geschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, dass
  - 20 der Eingang der Leistungsendstufe mit einem zusätzlichen Schalter (20) getaktet ist.

Figur 1